

ONGERUBRICEERD

**TNO-rapport**

96-CMC-R1438

De steekassen van de YPR.  
Een algeheel onderzoek naar de verschillen  
in materiaalkwaliteit die de vermoeiingslevensduur  
beïnvloeden.

**TNO Bouw**

Lange Kleiweg 5, Rijswijk  
Postbus 49  
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00  
Fax 015 284 39 90  
Telex 38270

Datum

6 november 1996

Auteur(s)

ir. J.M.J. Oostvogels

JMJ

**Opdrachtgever:**

Directie Materieel Koninklijke Landmacht  
Afdeling Beproevingen  
Ing. E. Tangerman  
Westerstraat 62  
4635 RX HUIJBERGEN

**Rubricering**

Vastgesteld door: ing. E. Tangerman  
Vastgesteld d.d.: 5 september 1996

Titel : ONGERUBRICEERD  
Managementuittreksel : ONGERUBRICEERD  
Rapporttekst : ONGERUBRICEERD  
Bijlagen : ONGERUBRICEERD

19970130 018

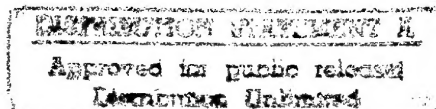
Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Projectnr. : 62376446 - A96/KL/131  
Goedgekeurd : ir. G.T.M. Janssen

BJ

Pagina's : 25 (inclusief bijlagen,  
excl. RDP & distributielijst)  
Figuren : 5  
Bijlagen : A, B en C



DTIC QUALITY INSPECTED 3

© TNO

ONGERUBRICEERD



TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over  
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder meer  
de overheid, grote en kleine ondernemingen in de bouw,  
toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO,  
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Managementuittreksel.

Titel : De steekassen van de YPR. Een algeheel onderzoek naar de verschillen in materiaalkwaliteit die de vermoeiingslevensduur beïnvloeden.  
Auteur : ir. J.M.J. Oostvogels  
Datum : 6 november 1996  
Opdracht no : 062376446 - A96/KL/131  
IWP no : 792  
Rapport no : 96-CMC-R1438

Er bestaan verschillende fabrikaten, Norca en Napco, van een steekas die deel uitmaakt van de YPR. De stalen assen gaan vaak kapot als gevolg van vermoeiing. Het valt daarbij op dat het Norca-fabrikaat een langere standtijd heeft.

Er bestaat bij de gebruiker behoefte aan eenvoudige voorspellende tests, waarmee bij aankoop de kwaliteit van een partij assen kan worden vastgesteld. In dit rapport wordt een overzicht geboden van alle uitgevoerde proeven en tests die de afzonderlijke materiaaleigenschappen, zoals samenstelling, hardheid en taaiheid beschrijven.

In het laatste hoofdstuk wordt geconcludeerd dat het ervaren kwaliteitsverschil misschien niet tot één eigenschap valt terug te voeren en daarom ook niet eenvoudig bepaald kan worden.

INHOUDSOPGAVE.

1. INLEIDING.	4
2. DE GEOMETRIE.	7
3. DE LEGERINGSELEMENTEN.	8
3.1. De staalsoort.	8
4. DE MICROSTRUCTUUR.	9
5. DE HARDHEID.	10
6. DE TAAIHEID.	11
6.1 De kerfslagwaarde.	11
6.2 De CTOD-waarde.	11
7. CONCLUSIES.	12
REFERENTIES.	13
FIGUREN	15
ANNEX A, Ref [9].	A.1
ANNEX B, Fragment Ref [10].	B.1
ANNEX C, Betrokken laboratoria en personen.	C.1

## 1. INLEIDING.

De YPR is een binnen de NAVO veel gebruikt gepantserd personenvoertuig op rupsbanden (tracks), zie Ref [1]. In de loop van zijn geschiedenis is het voertuig gemodificeerd. In het pakket van modificaties werd een krachtiger aandrijving opgenomen.

Binnen de Koninklijke Landmacht heeft men vastgesteld dat de aandrijfassen van de YPR een zeer beperkte levensduur hebben. Het betreft de assen die links-vóór en rechts-vóór een tandwiel (sprocket) aandrijven dat in ingrijping is met de rupsband. De assen zelf worden aangedreven door middel van een ander tandwiel dat op het vertande einde (op de splines) van de as is bevestigd door middel van een naaf met contra-vertanding.

Zowel de aandrijving als het remmen geschiedt vanuit het differentieel dat zich in het midden bevindt, Ref [2]. Het probleem doet zich voor dat het vertande gedeelte van de as door vermoeiing afbreekt, net naast de naaf van het tandwiel, daar waar het wringend moment hoog is. Als dat gebeurt is veilig remmen niet meer mogelijk, aangezien de verbinding tussen de rem en één rupsband is verbroken.

Werktuigkundige analyse, Ref [3], heeft reeds aangetoond dat in de gemodificeerde versie de zogenaamde spieassen worden belast boven de vermoeiingsgrens. Het bezwijken hoeft op zich dus geen verbazing te wekken. De Afdeling Beproevingen ontmoette bij buitenlandse collega's echter weinig belangstelling voor het probleem en er is dan ook geen vooruitzicht op een internationaal gecoördineerde verbeteringscampagne.

De Afdeling Beproevingen heeft opgemerkt dat de rijopleiding van de YPR een pakket van belastingen opriep dat een redelijke weergave vormde van het gebruik in de gewone militaire praktijk. Dat bleek mede uit het feit dat ook de rijopleiding een aantal asbreuken opleverde. Het belastingcollectief zoals zich dat voordeed in de rijopleiding is daarom als een referentiestandaard opgevat en geanalyseerd door middel van een range mean count procédé: een matrix van mechanische spanningsstappen werd gevuld met de gemeten en getelde aantallen van die stappen; zie bijvoorbeeld Ref [4] en [5]. Vervolgens werd het belastingcollectief afgespeeld op de "rijimulator" te Huijbergen. Dit kwam er op neer dat twee testassen, A en B, tegelijkertijd werden blootgesteld aan een belastingpatroon dat gelijkenis heeft met dat van de rijopleiding. De beproeving was in zoverre succesvol dat zowel de gevonden levensduur als ook de plaats en het uiterlijk van de vermoeiingsbreuk overeenkomst vertoonden met de schades uit de praktijk, evenals het voorkomen van scheurinitiatie na 1000 gesimuleerde mijlen. Het bleek namelijk uit magnaflux-onderzoek dat al na 1000 mijl vermoeiingsscheurtjes waren geïnitieerd in alle assen. Uit de proefnemingen in Huijbergen volgde een geadviseerde vervangingslevensduur van de assen van slechts 2000 mijl. Uit voortzetting van de tests bleek dat er twee groepen testuitslagen waren die behoorden bij twee partijen assen. Assen van de ene groep, van het fabrikaat Norca, haalden, inclusief de scheurinitiatie, een levensduur van circa 9000 mijl tot breuk. Bij de assen van de andere groep, fabrikaat Napco, was dat slechts 2750 mijl. Behalve de gevonden levensduur was ook het uiterlijk van het breukvlak verschillend. In het laatste geval een rafelige brosse breuk met zeer veel facetten in een radiaal patroon; het breukvlak was plat en haaks op de as. In het eerste geval was de breuk verdeeld in minder, maar grotere, schuine breukvlakken, getekend met groeilijnen; het geheel wijst op een langdurige stabiele scheurontwikkeling. Van beide groepen werden zes assen tot breuk beproefd.

(Later zijn er meer assen beproefd, maar volgens een strenger regime. Daardoor haalden beide typen nog slechts een even korte levensduur. In afwachting van de verslaggeving uit Huijbergen kunnen wij op deze plaats niet ingaan op de discussies die daarop volgden. Die gingen over de vraag of een verhoogde scheurinitiatie hier de oorzaak van was of eenvoudig het feit dat de belasting te dicht bij de treksterkte lag).

De Afdeling Beproevingen zou graag kunnen vaststellen of een partij assen tot de ene groep of de andere gerekend mag worden, omdat bij toepassing van het type Norca een langere vervangingslevensduur (dan 2000 mijl) kan worden aanbevolen. Het uiterlijk van de beide typen nieuwe assen is echter grotendeels gelijk. Het enige kenmerkende onderscheid wordt gevonden in het onbewerkte centrale vlak van de eindflens (sprocket-zijde); dit vlak is bij de Norca-as ruw en bij Napco glad.

De assen worden aan de KL aangeboden in partijen waarvan de precieze (buitenlandse) herkomst niet goed valt na te gaan. Wel kost de aankoop en montage van deze onderdelen forse bedragen per jaar. Voor de inzet in voormalig Joegoslavië worden de assen nu zelfs na 1000 mijl vervangen, aldus een medewerker van de Mechanisch Centrale Werkplaats

Het Centrum voor Mechanische Constructies van TNO werd verzocht om uit te vinden waarop de verschillen in vermoeiingslevensduur berusten en om een handige test of maatstaf te ontwikkelen op grond waarvan de KL de goede partijen kan kopen en de slechte afwijzen.

De as is een nabewerkt smeedstuk van staal 42CrMo4.

In Ref [6] uit 1994 is door TNO een eindige elementenberekening uitgewerkt van het getande deel van de as (splined shaft). Daarbij is niet de krachtoverdracht op de tandflanken en de buiging van de tanden meegenomen. De auteur heeft een verplaatsing (wringing) aan de as voorgeschreven en concludeert tot spanningsconcentraties aan de tandvoet. Dit stemt overeen met het feit dat de groeilijnen in alle breukvlakken de tandvoet als middelpunt lijken te hebben. Volgens het rapport is torsie van de as de belangrijkste schadeoorzaak en zou de buiging van de as niet veel bijdragen. Door geometrische effecten zou de maximale spanning drie maal zo hoog zijn als in het geval van een gladde as met dezelfde buitendiameter. Het rapport bevat op pagina 11 (Fig 1) een afbeelding van de aandrijfas. Deze afbeelding is echter niet geheel up to date, aangezien de getekende doorlopende boring tegenwoordig niet meer van toepassing is. De as is tegenwoordig massief ter plaatse van de breuk. Waarschijnlijk vormt dit een van de eerder genoemde modificaties. In Ref [6] is daar wel rekening mee gehouden, maar een bijgewerkte tekening van de aandrijfas is volgens AB te Huijbergen niet voorhanden.

Ref [7] is een metallurgisch rapport waarin twee afgebroken asstompen, genaamd A3 en A5 (Norca en Napco) worden vergeleken in hardheid, macroscopisch breuk uiterlijk en microscopisch kristallijn uiterlijk. Hierin heeft A3 (Norca) een breukvlak dat wijst op een taaie breuk; A5 (Napco) vertoont een brosse breuk. Uit het rapport komt naar voren dat de sterkere as A3 een homogener structuur heeft met minder insluitels. De spreiding in de hardheden, gemeten op 7 locaties in de dwarsdoorsnede, is dan ook geringer dan bij de A5. De as A3 is harder dan A5.

Er werd besloten de "onzichtbare kwaliteit" van beide assen nader te onderzoeken. Hieraan kunnen de volgende aspecten worden onderscheiden:

- De vermoeiingslevensduur (reeds door AB te Huijbergen onderzocht).
- De geometrie (maten, ruwheid).
- De chemische samenstelling: legeringselementen, de staalsoort.
- De kristallijne structuur en homogeniteit.
- Hardheid en hardingsdiepte.
- Taaiheid: de kerfslagwaarde en Crack Tip Opening Displacement (CTOD).

In de loop van het onderzoek zijn diverse Norca en Napco assen aan verschillende laboratoria, zie Annex C, ter test aangeboden. Dit heeft tot gevolg dat sommige onderzoeken elkaar hebben overlapt. Zo zijn er meerdere hardheidsmetingen uitgevoerd en meerdere bepalingen van de chemische samenstelling. Deze bepalingen zijn echter niet altijd aan hetzelfde proefstuk verricht. De gerapporteerde waarden verwijzen dus wel naar het type Norca of Napco als groep, maar niet naar een individuele as.

(Deze namen worden echter niet altijd gebruikt. De duurproeven in Huijbergen verwijzen naar de assen 1 tot en met 4 en 9 (Norca) en anderzijds naar de assen 5, 6, 8 en 10 (Napco). Deze nummering werd overgenomen door CMC toen de assen voor nader onderzoek werden toegeleverd aan TNO Industrie, het voormalige Metaalinstituut van TNO. Bijgevolg verwijst Ref [8] naar de assen genummerd 1 tot en met 3, afkomstig van fabrikant A (Norca) en de assen 5 tot en met 7 van fabrikant B (Napco). Een rapport van het Schielab, Ref [7], vermeldt as A3, Norca en as A5, Napco. Een verwarrende naamgeving komt voor in Ref [9], waar melding wordt gemaakt van de assen 01 en 04, respectievelijk Norca en Napco).

Ten slotte zij vermeld dat een stagiair werd gevonden die het project mede zou dragen. Frits Heuvelink maakte dit onderzoek mee als afstudeeropdracht voor

de afdeling Werktuigbouwkunde van het Hoger Technisch Onderwijs te Dordrecht, zie Ref [10]. Kort na zijn afstudeerwerk aanvaardde hij een betrekking bij de RTD te Rotterdam, waar hij soortgelijk onderzoek zal verrichten.

## 2. DE GEOMETRIE.

Vermoeiingsscheurtjes ontstaan vrijwel altijd aan het oppervlak van een onderdeel. Zij groeien in een vlak loodrecht op de grootste trekspanning. Bijgevolg zal een metalen werkstuk gevoeliger zijn voor vermoeiing naarmate het oppervlak groter is en meer spanningsconcentraties telt.

De grootte van de Norca en Napco assen is gelijk, maar de precieze maatvoering en de oppervlaktekwaliteit niet.

Met een schuifmaat werden van de in Huijbergen geteste assen de diameters van de topcirkel en de voetcirkel gemeten ter plaatse van de splines. Ook werd de diepte bepaald van het axiale gat in de hartlijn. Ref [10]: "Uit metingen komt naar voren dat de topcirkel van bijna alle proefstukken dezelfde is. De voetcirkel vertoont echter een grote variatie aan meetwaarden. Een eenduidig verband tussen bijvoorbeeld een kleinere voetcirkel en een kortere levensduur is echter niet gevonden. Hieruit volgt dat de gemeten geometrieverschillen niet correleren met de levensduur".

Het feit dat de voetcirkel een spreiding van meetwaarden vertoont komt overeen met de waarneming van Th. van Laarhoven (AB, Huijbergen), die opmerkte dat bij Napco-assen de overgang van de flank naar de voet van de splines niet altijd regelmatig is. Soms loopt bij Napco naast de flank een enigszins verdiepte ronde groef in de tandvoet.

Ref [8] meldt een visueel waargenomen betere oppervlaktegesteldheid van de flanken van de splines van de A-assen (Norca). Deze waarneming wordt echter niet gestaafd door de gerapporteerde ruwheidsmetingen. Verderop (hoofdstuk 4, discussie) worden de tandflankoppervlakken van beide assen vrij ruw genoemd. Daarnaast maakt het rapport bij de bespreking van de Napco-assen gewag van "ernstige oppervlakte-defecten in de vorm van bewerkingsgroeven, materiaaloverlappingsen, uitbrokkelingen en inwendige scheuren". Voorts worden deze defecten "ontoelaatbaar" genoemd.

### 3. DE LEGERINGSELEMENTEN.

Vanzelfsprekend is de precieze samenstelling van het staal van invloed op de vermoeiingseigenschappen. Een opgave van alle samenstellende elementen is tegenwoordig gemakkelijk te verkrijgen dankzij moderne apparatuur: de optische emissie spectroscopie.

De Mechanisch Centrale Werkplaats (MCW) van de Koninklijke Landmacht beschikt over dergelijke middelen (ing. Ton de Heus, hr. A.A. de Jong, zie Annex C) en men was daar bereid de twee astypen te analyseren. Daartoe werden drie assen van ieder type, ieder op vier plaatsen, onderzocht. Per as werd een lijst (aan AB te Huijbergen) afgegeven van het gemiddelde aandeel aan legeringselementen en de standaarddeviatie daarvan. Een officieel rapport van dit onderzoek is niet opgemaakt.

Bij TNO-CMC werden de gehalten aan legeringselementen in kaart gebracht. De aanwezigheid van Chroom, Mangaan, Koper en Nikkel is grafisch uitgedrukt in de figuren achter in dit rapport.

Op zoek naar een verklaring van de verschillen in vermoeiingslevensduur tussen de Norca- en de Napco-assen werden de gehalten aan legeringselementen vergeleken met de spreiding daarvan. Als de onderlinge verschillen kleiner waren dan de spreiding (niet significant) werd er geen aandacht meer aan geschonken. Van twee elementen was het verschil tussen Norca en Napco duidelijk: koper (Cu) en nikkel (Ni). De Norca-assen bevatten meer Cu (0,233 procent) en meer Ni (0,144 procent) dan de Napco-assen (respectievelijk 0,141 en 0,075 procent). Het koper heeft nauwelijks bijzondere betekenis en is als een onbelangrijke onzuiverheid vermoedelijk veroorzaakt door de recycling van materialen. Het nikkel is een waardevol legeringselement, dat zowel de taaiheid en de corrosiebestendigheid als de doorhardingsdiepte (samen met Cr) verbetert. Volgens de heer M. de Wacht van TNO Industrie, auteur van Ref [8], is het nikkelgehalte in beide gevallen echter teleurstellend laag.

Na de analyse door de MCW werd ook een analyse door TNO Industrie uitgevoerd. Zie Ref [8]. In tabel 1 en paragraaf 3.2 van dit rapport worden de accenten anders gelegd: men wijst op een enigszins te hoog koolstofgehalte (C) en zwavelgehalte (S).

#### 3.1. De staalsoort.

De legering van de spieassen was al in de inleiding genoemd: 42 CrMo4. Althans, dat is de meest gebruikte aanduiding.

Ref [8] wijst er op (blz.3) dat slechts twee van de zes aan TNO Industrie aangeboden assen voldoen aan deze definitie en dat twee onderzochte assen (A3, Norca, en B5, Napco) overeen komen met de kwaliteit van automatenstaal: 42CrMoS4. Dit vanwege het zwavelgehalte.

Andere typeringen, zoals 50 CrMo4 en 41 CrMo4, zijn ook mogelijk volgens Ref [10], zie annex B.

Ref [7] typeert het materiaal als 42CrMo5.4



#### 4. DE MICROSTRUCTUUR.

Ref [7]: de microstructuren van beide assen bestaan uit ontlaten martensiet en rest-austeniet.

Ook Ref [8] onderscheidt aan de tanden van de Norca-as een fijne ontlaten martensietstructuur; op ongeveer 15 mm onder de tandtop is voornamelijk een bainietstructuur waargenomen, wat gebruikelijk is bij dit type staal.

Volgens Ref [7] onderscheidt de Napco-as zich ongunstig door een grotere inhomogeniteit en door een groter aantal niet-metallische insluitels.

Ref [8] localiseert de grotere inhomogeniteit van het Napco-product onder de tandvoet (dus daar waar de meeste vermoeiingsscheuren hun oorsprong hebben) en acht deze het gevolg van talrijke segregaties.

Al in hoofdstuk 2, De geometrie, is er op gewezen dat de Napco-as wordt gekenmerkt door ernstige oppervlakte-defecten en inwendige scheuren.

Beide genoemde bronnen schrijven de matige kwaliteit en de gevonden verschillen toe aan de productiewijze van de assen.

Om die reden is het volgens Ref [8] niet mogelijk de kwaliteit van de beide soorten assen te verbeteren, bijvoorbeeld door middel van shot peening of een warmtebehandeling.

## 5. DE HARDHEID.

Desgevraagd verklaren vermoeiingsdeskundigen, bijvoorbeeld ir. Onno Dijkstra van TNO Bouw, zie Annex C, dat er geen eenduidig verband bestaat tussen de vermoeiingseigenschappen van een metaal en de hardheid. De volgende opmerkingen over de hardheid van de speassen leiden dus niet tot geldige conclusies over de vermoeiingslevensduur. Toch is ook de hardheid van de speassen onderzocht.

Door bijzondere behandelingen (plasmaharden, inductieharden, carboneren, nitreren) wordt hardheid van het stalen oppervlak verkregen. Koolstof speelt zoal bekend een belangrijke rol in de hardheid van staal. Koolstof kan bij verhitting echter oxideren en gasvormig, als CO of CO<sub>2</sub>, ontwijken. Dit proces heet ontkoling en tast de uitwendige hardheid aan. Ontkoling wordt in Ref [8] gerapporteerd met betrekking tot de tandtop van beide soorten assen.

De hardheid kan worden bepaald met de bekende genormaliseerde proeven van Brinell, Rockwell (B = ball; C = cone) en Vickers, waarbij een hard lichaampje (kogel, conus of piramide) met een bekende kracht in het materiaal gedrukt wordt. De uitgeoefende kracht wordt in kgf vermeld. Bijvoorbeeld HV0,1 verwijst naar Vickershardheid, bepaald met een aandrukkracht van 0,1 kgf. Het oppervlak van de indrukking biedt een hardheidsindicatie. De proeven zijn nauwelijks destructief te noemen omdat het vervormde gebied klein is, vooral in het geval van de Vickersproef. Voor materialen met een homogeen verdeelde hardheid kunnen de verschillende hardheidsaanduidingen in elkaar worden uitgedrukt, zie Ref [11], (pag 544, Werkstoffkunde, II Prüfung der Werkstoffen, 5. Härteprüfung).

Vaak is echter wel het oppervlak hard, maar niet de kern. De hardingsdiepte kan dan worden beoordeeld door vergelijking van de Vickershardheid met die van Brinell, waarbij een grotere kogel dieper in het materiaal wordt gedrukt dan het kleine diamantje van het Vickerstoestel.

In Ref [10], deel II hoofdstuk 8 en tabel 8, wordt voor de Norca-as een hogere hardheidswaarde gevonden dan voor de Napco-as. Dezelfde conclusie wordt gevonden in Ref [7] en [8]. Zowel Ref [10] als [8] wijzen op een grotere hardingsdiepte bij Norca.

Bron	Norca	Napco	Opmerkingen
Ref [10]	421 HV62,5 (st.dev. 31)	361 HV62,5 (st.dev. 23)	uitwendig
Ref [7]	420 HV10 (st.dev. 11,7)	370 HV10 (st.dev. 24)	op doorsnede
Ref [8]	420 HV0,1 5 mm	380 HV0,1 2 mm 340 HV0,1	uitwendig hardingsdiepte inwendig

## 6. DE TAAIHEID.

Het scheurgroeigedrag wordt tot uitdrukking gebracht in de scheurgroeisnelheidskromme, ook wel genoemd de  $da/dn-\Delta K$  kromme, zie Ref [5] hoofdstuk 6. In deze kromme met logaritmische schalen kunnen duidelijk de drie fasen van het vermoeiingsproces worden onderscheiden:

1. Tijdens de scheurinitiatiefase is er de vorming en de trage groei van microscheurtjes.
2. Onder invloed van de ontwikkeling  $\Delta K$  van de spanningsintensiteitsfactor volgt een regelmatige scheurgroei, die door de wet van Paris beschreven wordt als een schuine lijn. De duur van deze fase wordt bevorderd door de materiaaleigenschap taaigheid (toughness), die kan worden uitgedrukt in de kerfslagwaarde en in de Crack Tip Opening Displacement (CTOD-waarde). Het verschil in breukuiterslijk tussen de Napco- en de Norca-assen lijkt te kunnen worden toegeschreven aan taaigheid.
3. In de derde fase neemt de scheurgroeisnelheid toe op een instabiele manier. De scheurgroeikromme gaat verticaal lopen; de restbreuk volgt.

### 6.1 De kerfslagwaarde.

De kerfslagproef is een bepaling van de hoeveelheid opgenomen energie bij het breken van een genormaliseerd proefstaafje. De proef wordt toegelicht in Ref [11], pag 545. Van beide astypen, Norca en Napco, werd één exemplaar opgeofferd voor de productie van drie kerfslagstaafjes. De verwachte kerfslagwaarde bedroeg 35 Joule. Deze kon worden afgeleid uit tabel 9 van Ref [12] voor staal 42 CrMo4 en voor diameters tussen 40 en 100 mm. De werkelijk gemeten waarde wordt vermeld in Ref [9], zie Annex A, en is betrekkelijk laag: Norca 29 en Napco 17 Joule.

### 6.2 De CTOD-waarde.

De tweede indicator van de taaigheid is de Crack Tip Opening Displacement, de CTOD-waarde. Dit is de mate waarin het uiteinde van een voorgevormd scheurtje in een welomschreven proefstaafje open zal gaan staan onder de invloed van bepaalde belastingcondities. De opening is een maatstaf voor de taaigheid en kan variëren van klein ( $< 0,1$  mm) voor brosse materialen tot groot (bijvoorbeeld 1 mm) voor taaie materialen. De CTOD-bepaling is in de literatuur weinig behandeld, maar goed verklaard in Ref [13]. Door de Afdeling Beproevingen van DMKL werd een CTOD-bepaling opgedragen aan het Schielab, welke in Ref [14] is gerapporteerd. De Norca-as haalt een gemiddelde score (uit drie) van 0,09 mm; de CTOD van Napco bedraagt 0,05 mm.

Net als bij de kerfslagproeven komt er voor beide assen een lage waarde uit de bus, zij het dat ook hier Norca iets taaier lijkt te zijn.

## 7. CONCLUSIES.

Er is door diverse partijen onderzoek verricht naar de materiaalkenmerken van de twee alternatieve stalen assen van de YPR: Norca en Napco. Het onderzoek had betrekking op :

- De weerstand tegen vermoeiing.
- De geometrie.
- De chemische samenstelling.
- De microstructuur.
- De hardheid
- De taaiheid.

Uit het onderzoek komt naar voren dat beide typen assen een matige kwaliteit bezitten.

Voor zover er verschillen worden gevonden wijzen die telkens in één richting: het Norca-materiaal is wat beter. Het bevat iets meer nikkel, het is iets harder en taaiër en heeft een betere en homogenere microstructuur. Ook de maatvoering van de tandvoet vertoont bij Norca minder afwijkingen.

Het feit dat de Norca-as beter uit de vermoeiingsproeven komt mag dus worden toegeschreven aan een mix van deze eigenschappen. Ref [8] benadrukt de betekenis van de structuurfouten bij Napco als gevolg van het mechanische productieproces.

Het opwerken van de kwaliteit van de reeds voorradige assen is volgens Ref [8] niet mogelijk.

Het is niet goed mogelijk een simpele, snelle en doeltreffende proef te ontwikkelen die "goede" en "slechte" assen onderscheidt.

Relevante snelle indicaties zijn het laten uitvoeren van een kerfslagproef en een bepaling van de CTOD-waarde.

Een volledige toetsing van de gebruikswaarde van een as wordt echter toch geboden door het uitvoeren van een vermoeiingsproef. Dat is bezwaarlijk omdat de grote installatie van Afdeling Beproevingen, de Rijsimulator, niet altijd ter beschikking staat. Het is daarom misschien een overweging waard een kleine "dedicated" vermoeiingsmachine te laten maken, toegesneden op YPR-assen, die de standtijd van de assen bepaalt bij de toepassing van een cyclische harmonische belasting.

REFERENTIES.

Ref [1]

Jane's Armour and Artillery.  
Christopher F. Foss  
Jane's Information group; Thirteenth edition; 1992-1993

Ref [2]

Technische documentatie betreffende Stuurdifferentieel YPR.  
Mechanisch Centrale Werkplaats, document NSN 2520-01-029-0526.  
16-11-1995.

Ref [3]

Concept notitie: Uitgaande as eindaandrijving.  
R.A. Herruer, 4 juli 1991.

Ref [4]

Booglassen. Op vermoeiing belaste constructies.  
Nederlands Normalisatie-instituut.  
Nederlandse norm NEN 2063.  
1e druk, maart 1988.

Ref [5]

Prof. Overbeeke en prof. Schijve  
Handleiding Patocursus "Vermoeiing van constructies"  
TU Eindhoven, november 1990.

Ref [6]

Torsieberekening aandrijfas YPR Pantservoertuig.  
ir. W. Trouwborst, TNO-CMC, Delft.  
TNO-rapport 94-CMC-R0088, 18 januari 1994.  
Ongerubriceerd, Project no 3.2774371; A86/KL/015.

Ref [7]

Metaalkundig onderzoek aan twee YPR-assen.  
ing. J. Noordzij, Schielab v.o.f. Breda.  
Rapport SL 95.5223; 04-08 '95.

Ref [8]

Onderzoek naar de kwaliteit van steekassen van twee verschillende fabrikanten.  
ir. M. de Wacht, TNO Industrie (voorheen Metaalinstituut), Apeldoorn.  
TNO-rapport 96MI-00616/BRU/SCI, 30 juli 1996.  
Project no 042567170.

Ref [9]

Kerfslagproeven, (Zie aanhangsel A bij dit rapport).  
B.E.H.C. van den Brand, TNO Industrie, voorheen Metaalinstituut, Apeldoorn.  
TNO-rapport MI-96-10020/BND; 16 april 1996.

Ref [10]

Vermoeiingsscheur bij Splined Shafts.  
F.D. Heuvelink; juni 1996.  
Afstudeerverslag Hoger Technisch Onderwijs Dordrecht na stage  
werktuigbouwkunde bij TNO-CMC.

Ref [11]

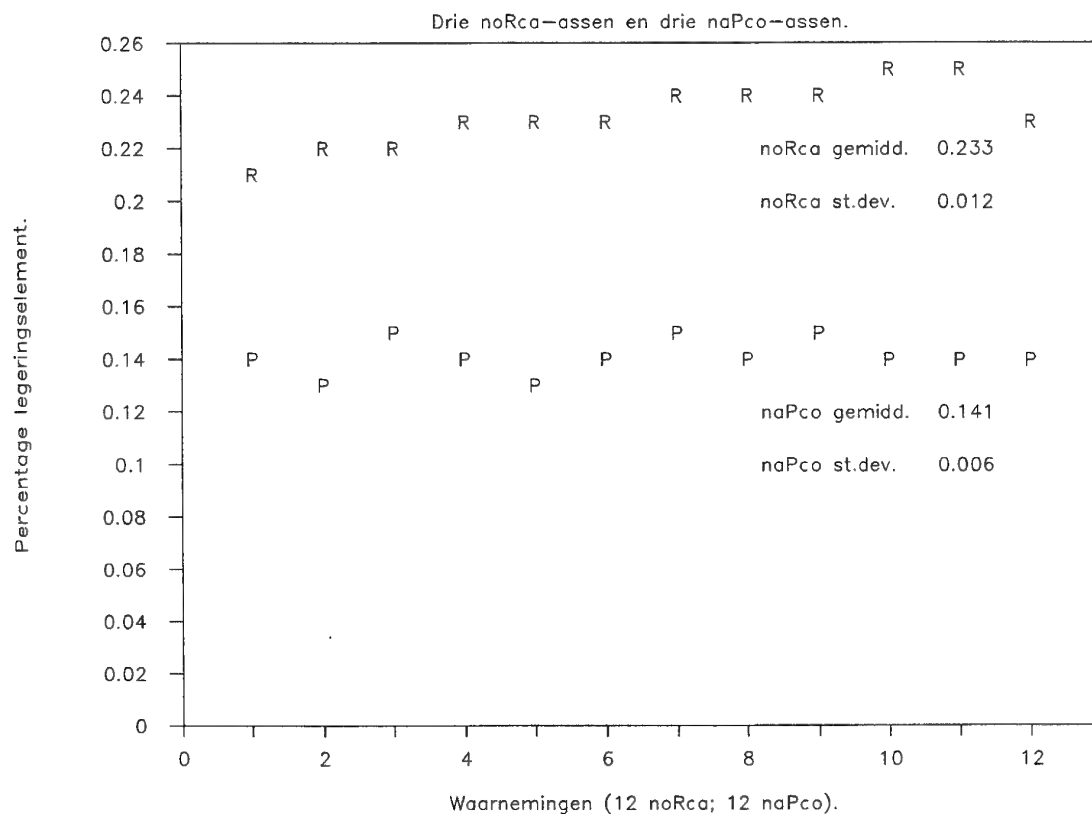
Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau.  
13.Auflage, Erster Band.  
Springer Verlag, 1974.

Ref [12]  
Quenched and tempered steels. Part 1.  
Nederlands Normalisatie-instituut.  
Nederlandse norm NEN 10083-1991.  
1e druk, oktober 1992.

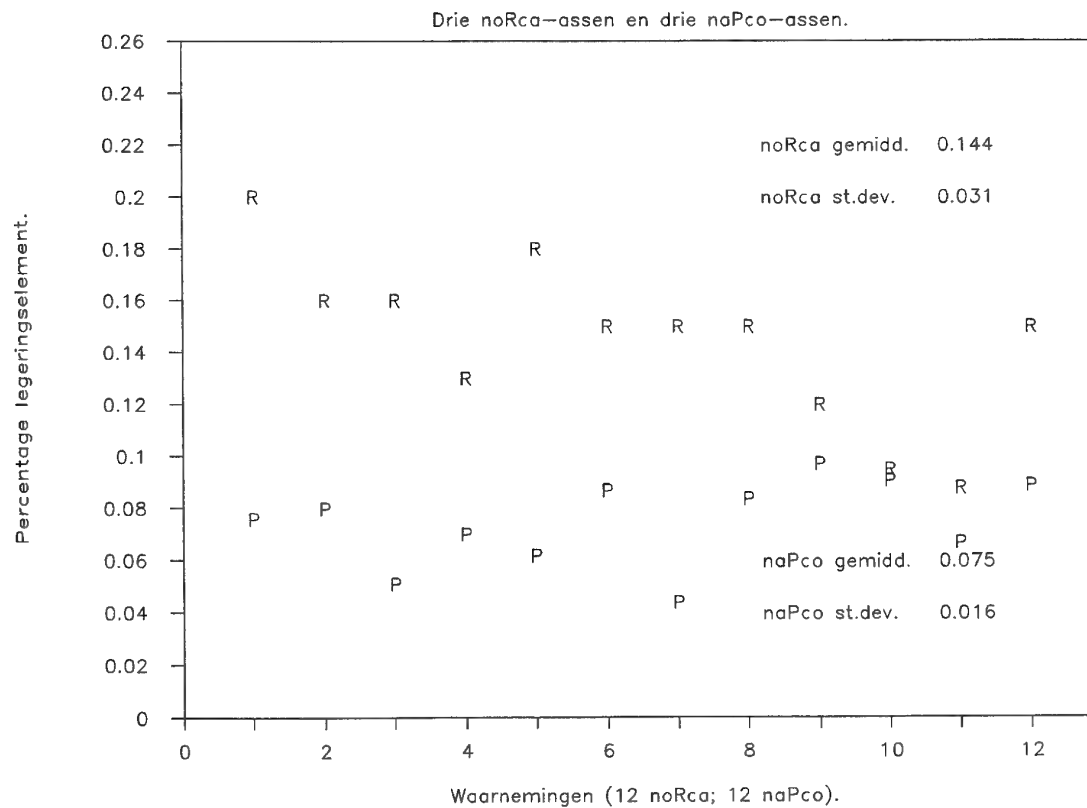
Ref [13]  
Fracture mechanics; toughness tests.  
Part 1. Method for determination of  $K_{Ic}$ , critical CTOD and critical J values  
of metallic materials.  
British Standard. BS 7448; part 1; 1991.

Ref [14]  
CTOD test results.  
ir. L.H. Brantsma, Schielab v.o.f. Breda.  
Rapport SL 96.7558-1; 26-02-'96.

FIGUREN.

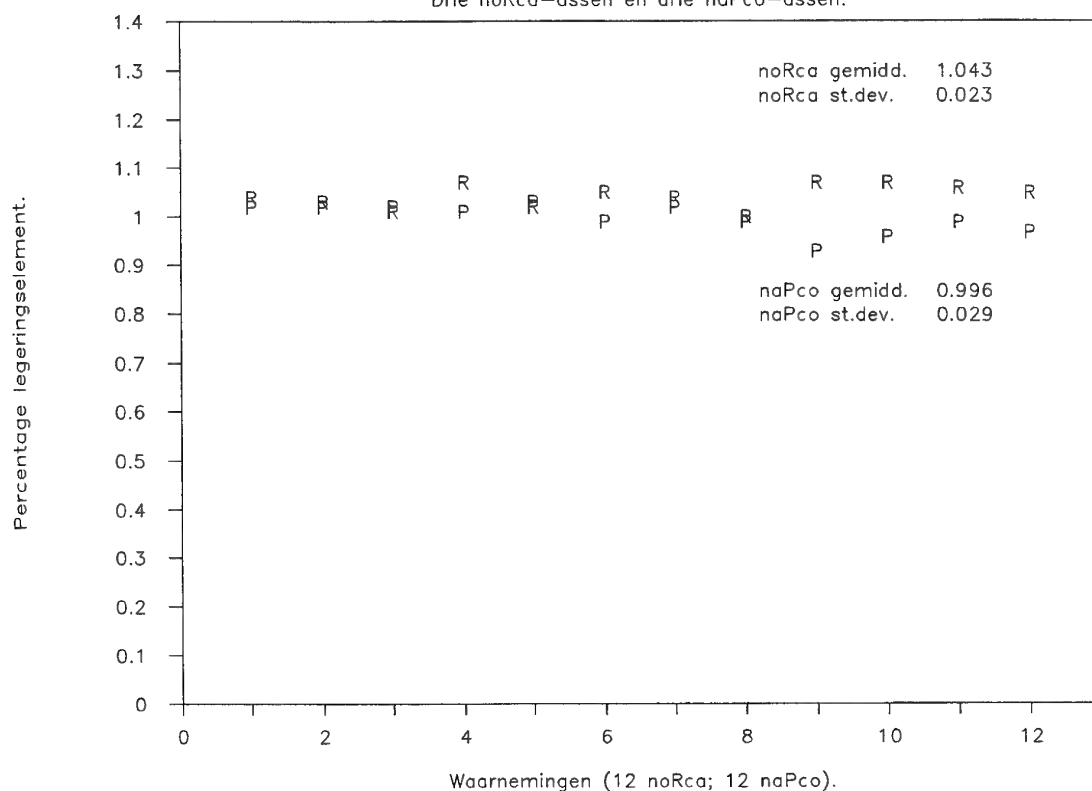


## NIKKEL



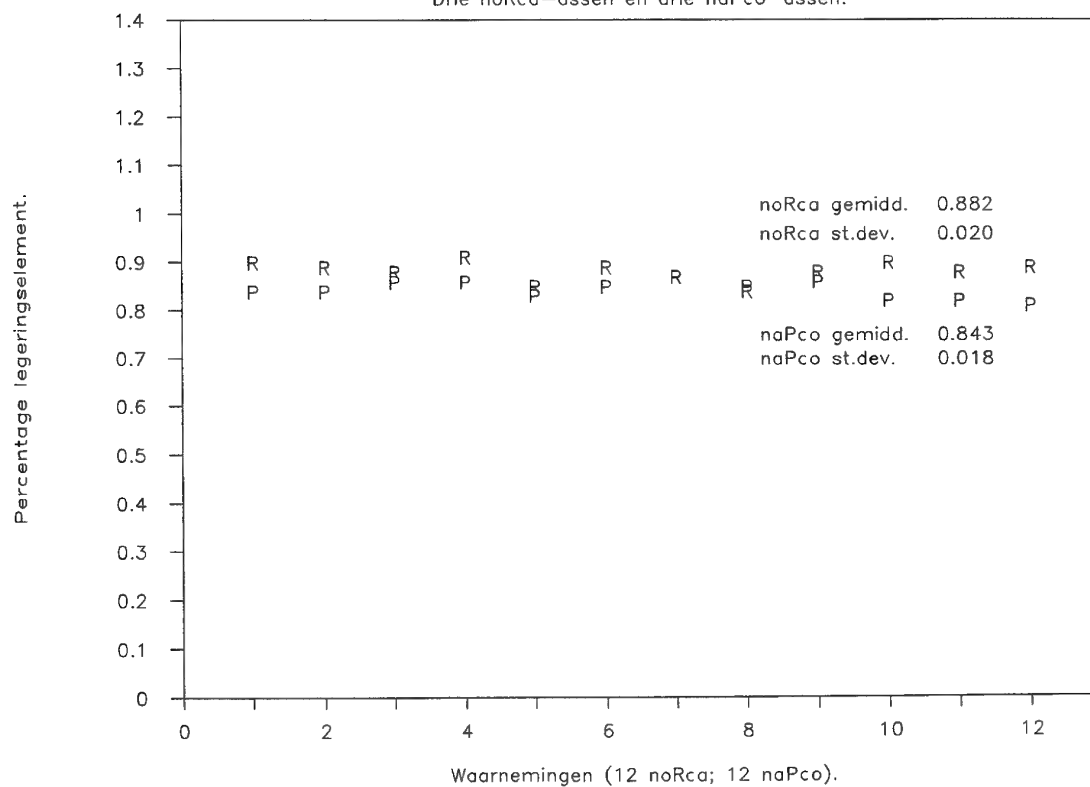


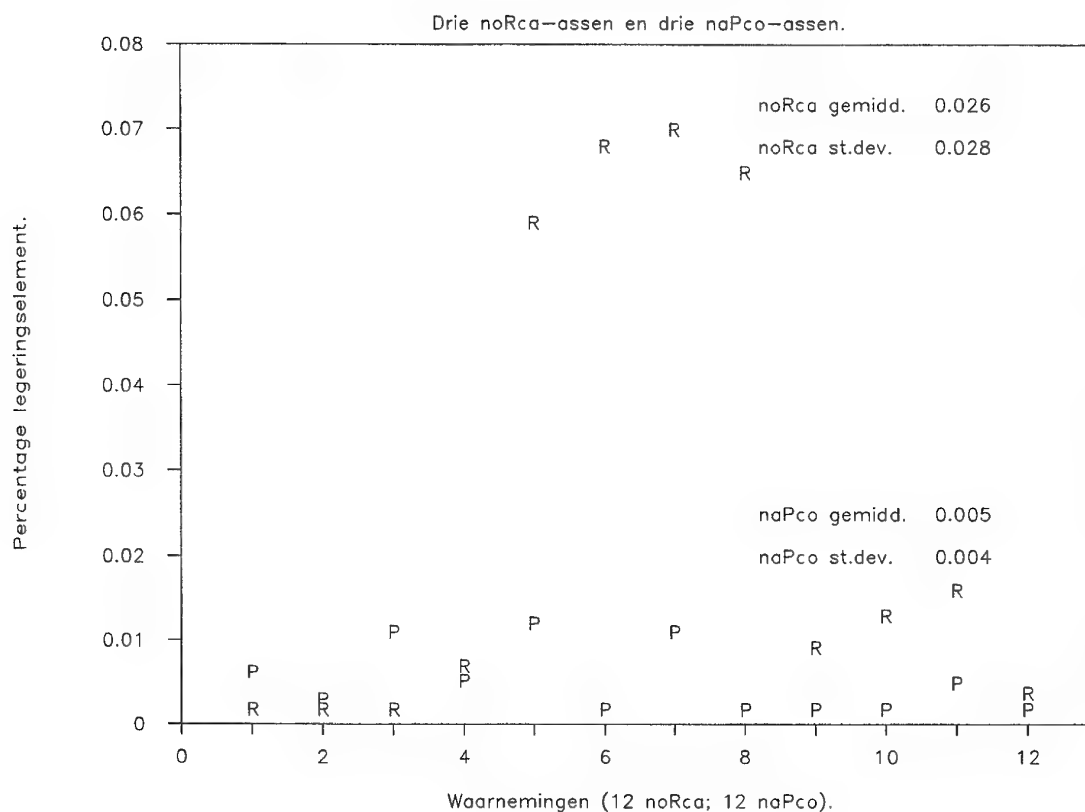
Drie noRca-assen en drie naPco-assen.



## MANGAAN.

Drie noRca-assen en drie naPco-assen.





ANNEX A

Kerfslagproeven, Ref [9].

**TNO-rapport**  
MI-96-10020/BND

**KERFSLAGPROEVEN**

**TNO Metaalinstituut**

Laan van Westenenk 501  
Postbus 541  
7300 AM Apeldoorn

Datum  
16 april 1996

Telefoon 055 - 493 493  
Fax 055 - 419 837

Auteur  
B.E.H.C. van den Brand

Opdrachtgever

TNO-Bouw  
t.a.v. Ir. J.M.J. Oostvogels  
Postbus 49  
2600 AA DELFT

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Opdrachtnummer  
Uw referentienummer  
Oplaag

011661028.047  
TNN/EKU  
3



**QUALIFIED  
BY STERIS**

Datum: 15 april 1996. Rapport no:96MI/10020/BND Pagina: 1-1

Monsters	2 Steekkassen. Code 01 en 04	
Herkomst	--	
Gevraagd onderzoek	Kerfslagproeven	
Beproevingseisen		Ons ref : 011661028-047
Opdrachtgever	TNO - Bouw. dhr. Oostvogels	Uw ref. :TNN/EKU 0961291

## MECHANISCH ONDERZOEK

[illegible]

**OPMERKINGEN:**

Laboratorium B.E.H.C. van den Brand

Gezien: W. van Zwieten

**TNO METAALINSTITUUT**  
Mechanische Beproeving  
Postbus 541 - 7300 AM APELDOORN  
Telefoon (055) - 49 35 38



ANNEX B

Ref [10], deel 3, pag 4, "Materiaal aandrijfas".

### Doorsnede 2:

$$\begin{aligned}
 M_b &= F_{rb} \cdot 103,5 = 53811 \cdot 103,5 = 5569439 \text{ Nmm} \\
 \sigma_b &= M_b / W_b = M_b / ((D^4 - d^4) / 10D) \\
 \sigma_b &= 5569439 / ((70^4 - 25,4^4) / 10 \cdot 70) = 165 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \sigma_b &= M_b / (\pi / 32 D^3) = 5569439 / ((\pi / 32) \cdot 70^3) = 165 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)} \\
 M_w &= T_{eind} \cdot r_{ms} = 30674000 \text{ Nmm} \\
 \tau_w &= 30674000 / ((0,2(70^4 - 25,4^4) / 70) = 455 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \tau_w &= 30674000 / (0,2 D^3) = 447 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)} \\
 \sigma_i &= \sqrt{(165^2 + 3 \cdot 455^2)} = 808 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \sigma_i &= \sqrt{(165^2 + 3 \cdot 447^2)} = 792 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)}
 \end{aligned}$$

### Doorsnede 3:

$$\begin{aligned}
 M_b &= F_{rb} \cdot 51 = 53811 \cdot 51 = 2744361 \text{ Nmm} \\
 \sigma_b &= M_b / W_b = M_b / ((D^4 - d^4) / 10D) \\
 \sigma_b &= 2744361 / ((57^4 - 25,4^4) / 10 \cdot 57) = 154 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \sigma_b &= M_b / (\pi / 32 D^3) = 2744361 / ((\pi / 32) \cdot 57^3) = 151 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)} \\
 M_w &= T_{eind} \cdot r_{ms} = 30674000 \text{ Nmm} \\
 \tau_w &= 30674000 / ((0,2(57^4 - 25,4^4) / 56) = 911 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \tau_w &= 30674000 / (0,2 D^3) = 828 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)} \\
 \sigma_i &= \sqrt{(154^2 + 3 \cdot 911^2)} = 1585 \text{ N/mm}^2 \text{ (holle as)} \\
 \sigma_i &= \sqrt{(151^2 + 3 \cdot 828^2)} = 1442 \text{ N/mm}^2 \text{ (massieve as)}
 \end{aligned}$$

### Materiaal eindaandrijfas:

Bij nadere analyse van de chemische samenstelling van het materiaal blijkt deze te variëren tussen de waarden:

FS 4145 H	50 CrMo4
FS 4147 H	
FS 8653 H	
FS 4142 H	41 CrMo4

Voor het benaderen van de toelaatbare spanningen in de eindaandrijfas zijn we uitgegaan van de zwakste uit dit rijtje de FS 4142 H. De staalsoort FS 4142 H komt overeen volgens de referentie tabel met 41CrMo4.

(Bron : Iron & Steel standards, Recommended Practices, Information reports).

ANNEX C

Betrokken laboratoria en personen.



BETROKKEN LABORATORIA EN PERSONEN.

Directie Materieel Koninklijke Landmacht (DMKL), Afdeling Beproevingen (AB)  
Westerstraat 62, 4635 RX, Huijbergen;  
tel 0164-678200; fax 0164-678630.

ing. E. Tangerman, opdrachtgever en projectleider KL; 0164-678526  
hr. Th. van Laarhoven, vermoeiingsonderzoek.

KL, Mechanisch Centrale Werkplaats (MCW)  
Kolonel H.L. van Royenweg 3, Leusden;  
postadres: Postbus 3004, 3800 DA Amersfoort.  
Fax 033-4608747.

ing. Ton de Heus, bedrijfsstaf, spectroscopische emissie, 033-4608766,  
hr. A.A. de Jong, materiaaldeskundige, 033-4608770

TNO Bouw  
Centrum voor Mechanische Constructies; Leeghwaterstraat 5; Postbus 49,  
2600 AA, Delft; tel 015-2608608; fax 015-2608436.

ir. J.M.J. Oostvogels, auteur en projectleider TNO, 015-2608413  
ir. W. Trouwborst, auteur Ref [6]  
hr. F. Heuvelink, stagiair, auteur Ref [10].

Afd. Constructies, Lange Kleiweg 5, Rijswijk  
ir. O. Dijkstra, adviseur, 015-2842351.

TNO Industrie (voorheen Metaalinstituut), Laan van Westenenk 501  
Postbus 541, 7300 AM, Apeldoorn. Tel 055-5493493, fax 055-5419837.

ir. M. de Wacht, auteur Ref [8], tel 055-5493206, fax 055-493272.  
W. van Zwieten, afd. Beproeving en Kwalificatie, tel 055-5493690.  
B.E.H.C. van den Brand, auteur Ref [9].

Firma Nieuwstraten, Rijsenburgerweg 25, Poeldijk, tel 0174-245511.  
hr. Ton Brasker, vervaardiging kerfslagstaafjes.

Schielab v.o.f, Voorerf 18-20, 4824 GN, Breda.  
Tel 076-424300, fax 076-424848.

ing. J. Noordzij, auteur Ref [7]  
ir. L.H. Brantsma, auteur Ref [14].

ONGERUBRICEERD

REPORT DOCUMENTATION PAGE		
1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL)  RP 96 - 0112	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER 96-CMC-R1438
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.  62376446	5. CONTRACT NUMBER  A96/KM/131	6. REPORT DATE  6 November 1996
7. NUMBER OF PAGES 25 (incl. appendices & excl. RDP + Distr. List)	8. NUMBER OF REFERENCES 14	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final Report
<p>10. TITLE AND SUBTITLE</p> <p>De steekassen van de YPR.</p> <p>Een algeheel onderzoek naar de verschillen in materiaalkwaliteit die de vermoeiingslevensduur beïnvloeden.</p> <p>The splined shafts of the YPR vehicle.</p> <p>A general inquiry on the material quality aspects that influence fatigue life.</p>		
<p>11. AUTHOR(S)</p> <p>J.M.J. Oostvogels</p>		
<p>12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)</p> <p>Centre for Mechanical Engineering Leeghwaterstraat 5 2628 CA DELFT, The Netherlands</p>		
<p>13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESSES(S)</p> <p>Sponsor: Netherlands Ministry of Defence Monitoring agency: TNO Defence Research, Schoemakerstraat 97, 2628 VK DELFT, The Netherlands</p>		
<p>14. SUPPLEMENTARY NOTES</p> <p>The Centre for Mechanical Engineering is part of TNO Building and Construction Research Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified</p>		
<p>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTES)</p> <p>Various providers of drive shafts, for instance Norca and Napco, offer their products to the Royal Netherlands Army. The steel drive shafts fail early as a result of metal fatigue. Perhaps the Norca product performs slightly better than the Napco. This report offers a summary of shaft features as they were tested or researched: chemical composition, hardness, toughness, microscopic structure.</p> <p>The report concludes that the differences in fatigue life are the result of a mix of these features.</p> <p>The existing shafts cannot be upgraded.</p> <p>There is no simple criterion to distinguish one shaft type from the other one.</p>		
<p>16. DESCRIPTORS</p> <p>Fatigue life Shaft Material quality</p>		<p>IDENTIFIERS</p> <p>Hardness Toughness</p>
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)  ONGERUBRICEERD	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)  ONGERUBRICEERD	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)  ONGERUBRICEERD
<p>18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT</p> <p>Unlimited availability, requests shall be referred to sponsor</p>		<p>17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) ONGERUBRICEERD</p>

ONGERUBRICEERD

DISTRIBUTIELIJST RAPPORT 96-CMC-R1438

Instituut: TNO Bouw CMC

Project A96/KM/131

DWOO	1
HWO-Centrale Organisatie	(B)
HWO-KM	(B)
HWO-KL	1
HWO-Klu	(B)
Projectleider DMKL, ing. E. Tangerman	5
Bureau TNO-DO	1
TNO-Centrum voor Mechanische Constructies	4
Bibliotheek KMA	3

(B) = Beperkt rapport